CN 53-1189/**P** **ISSN** 1672-7673

不同卫星伽玛 νF_ν 暴谱的峰值能量分布*

林一清[1,2]

(1. 厦门理工学院光电与通信工程学院，福建 厦门 361024；2. 福建省高校光电技术重点实验室，福建 厦门 361024)

摘要：伽玛暴是宇宙中最剧烈的爆发现象之一，观测伽玛暴预警和暂现源实验卫星(Compton Gamma-Ray Observatory/Bursts and Transient Source Experiment，BATSE)、高能暂现源探测卫星(High Energy Transient Explorer，HETE)和 Fermi 提供了大量的伽玛暴样本，对这些数据进行分析，用统计的方法寻找其中蕴含的伽玛暴辐射物理信息是必要的。伽玛暴能谱 νF_ν 的峰值能量 E_p 是伽玛暴一个很重要的物理量，并且每个暴的峰值能量不同。研究比较不同仪器观测的伽玛暴 νF_ν 谱的峰值能量 E_p 分布，发现伽玛暴的峰值能量 E_p 分布很宽，不同仪器的 E_p 分布相似，BATSE 样本 E_p 分布的峰值比 HETE-2 和 Fermi 样本的 E_p 峰值要大一些，这可能是由于选取的 BATSE 样本都是亮暴造成的。3 种仪器观测的 Log$N$-LogE_p 分布也没有显著差异。即从统计学的角度上讲，3 种暴的 E_p 分布没有本质不同，不同仪器观测到的伽玛暴的辐射物理信息应该是一致的。

关键词：伽玛射线；暴；峰值能量；观测

中图分类号：P172.3 **文献标识码：**A **文章编号：**1672-7673(2016)03-0273-04

伽玛射线暴(Gamma-Ray Bursts，GRBs)是人们观测到的一种来自宇宙学距离的伽玛射线在短时间内忽然增强的极端高能爆发现象。自伽玛暴被发现以来，不同卫星的观测和地面望远镜的余辉跟踪让我们对伽玛暴有了本质的认识，而对伽玛暴瞬时能谱和谱随时间演化的研究，为伽玛暴的辐射机制研究提供了有利的证据。其中，伽玛暴能谱 νF_ν 的峰值能量 E_p 是伽玛暴一个很重要的物理量，它与一些观测量(如流量、光度或各项同性能)之间都存在相关性[1]。最初，人们认为观测到的伽玛暴瞬时谱中除了一般的非热辐射(幂律谱)成分外，还有一部分热辐射(黑体辐射)成分，E_p 被认为是热成分的峰值[2]。但是，这种模型过高地估算了大部分暴的 X 射线流量观测值。现在普遍认为，如果观测仪器的能量波段足够宽，那么一个典型暴的瞬时辐射能谱大致为两段幂律谱，并且大都可以由 Band 函数给出很好的拟合，高能段和低能段分别是两段幂律谱在中间 E_p 处平滑的连接[3]。也有一些暴的瞬时辐射谱表现为单一的幂律谱，这可能是由于一些观测仪器的观测能段狭窄(如 Swift 卫星伽玛暴预警望远镜的观测能段为 15~150 keV)，对伽玛暴的瞬时辐射高能谱的确定较为困难，因此很难获得高能部分的谱指数，而这个单一的幂律谱可能只是 Band 函数的低能部分[4]。事实上，利用谱指数和 E_p 之间满足的一些经验相关性或利用谱的硬度信息等估算得到 Swift/BAT 暴的 E_p 值，仍可与 BAT 与其它的覆盖高能段的观测仪器(如 Konus-WIND、Fermi-GBM)联合观测得到的结果一致[5]。

到目前为止，比较完整的伽玛暴谱性质主要由 1991 年发射成功的康普顿天文台伽玛暴预警和暂现源实验卫星、2000 年成功发射的高能暂现源探测卫星、2004 年发射的 Swift 卫星和 2008 年发射的费米伽玛射线空间望远镜观测得到。这些观测卫星具有不同的观测能段、不一样的灵敏度和不同的观测特征。

伽玛暴预警和暂现源实验卫星是康普顿天文台的 4 个观测仪器之一，观测能段在 20 keV~2 MeV 之间，以其较高的时间分辨率和能量分辨率在十年间(04/1991-05/2000)观测到了 2 704 个伽玛暴[6]。伽玛暴预警和暂现源实验卫星的能段介于低能段观测的 Swift/伽玛暴预警望远镜和高、宽能段观测的

* 基金项目：国家自然科学基金(U1231101)和福建省教育厅 A 类项目(JA15378)资助.
收稿日期：2015-11-25；修订日期：2015-12-24
作者简介：林一清，女，教授. 研究方向：天体物理. Email：yqlin@ xmut.edu.cn

Fermi/伽玛监视器(Gamma-ray Burst Monitor，GRB)之间，使 BATSE 暴成为伽玛暴瞬时辐射的亚 keV、MeV 和 GeV 观测的重要桥梁。高能暂现源探测卫星是一颗专门用于研究伽玛暴的小卫星，它的主要目的是通过瞬时辐射对伽玛暴进行定位并且迅速把暴源的精确方位发布给地面望远镜。HETE-2 的法国伽玛射线望远镜(FREGATE)对 10~400 keV 波段的质子比较敏感，这个敏感波段可以延伸到低能的波段，使得对分布在几 keV 的硬 X-射线和 X 射线闪的 E_p 探测成为可能。费米卫星包含伽玛暴监测器(Gamma-ray Burst Monitor，GBM)，能段为 8 keV~25 MeV 和大视场望远镜(Large Area Telescope，LAT)，观测能段为 20 MeV~300 GeV 两个仪器。费米卫星宽、高能观测的加入扩展了伽玛暴观测的能段范围，使得对伽玛暴的观测得以全波段进行，从而能比较完整地记录伽玛暴辐射能谱[7]。虽然伽玛暴监测器的能段范围完全覆盖了伽玛暴预警和暂现源实验卫星的能段，但是伽玛暴监测器不具有伽玛暴预警和暂现源实验卫星的灵敏度。

鉴于不同卫星观测的能段范围不一致，它们的观测特征不一致，E_p 又是伽玛暴一个非常重要的观测量，本文比较几种卫星观测的伽玛暴能谱 νF_ν 的峰值能量 E_p 的分布。

1 数据描述

文[3]对谱给出一个很好的唯象拟合，实际上是在截断能量处平滑连接起来的两段幂律谱。由于 Swift/BAT 的观测能段比较窄(15~150 keV)，伽玛暴预警望远镜观测到的只是伽玛暴谱很小的一部分，绝大部分伽玛暴的 E_p 超过了伽玛暴预警望远镜的观测范围。为了使得结果比较真实可信，这里不考虑 Swift 暴，仅比较 BATSE、HETE-2 和 Fermi 3 种仪器的伽玛暴观测样本。

BATSE 暴样本的数据主要从文[8]收集。为了获得每个暴谱演化中比较合理的时间分辨图像，他们仅考虑亮暴，即所有能量波段的总流量>20 keV 的暴，或者在 BATSE 的能量触发波段 50~300 keV 中，峰值流量超过 10 photons cm^{-2} s^{-1}的暴。这样从 BATSE 卫星发射到 1998 年 9 月 23 日，共从 5 500 个谱中收集 156 个暴的 E_p 数据。

HETE-2 暴样本的数据主要从参考文献和 HETE-2 的网上收集，共收集到 HETE-2/FREGATE 观测到的 57 个暴。在这 57 个暴中，有 49 个暴的 E_p 是通过 Band 函数拟合谱得到的。另外的 8 个暴只获得它们的流量，它们的 E_p 值都是从谱硬度比估算获得。

最后从网站 http://heasarc.gsfc.nasa.gov/上下载 Fermi 暴的数据，每个暴的能谱用一个幂律函数来拟合(Band 函数或者光滑连接的截断幂律谱)，$F \propto \nu^{-\Gamma}$，根据 Γ 算出 E_p，即

$$\log E_p = (2.76 \pm 0.07) - (3.61 \pm 0.26)\log \Gamma .$$

通过这个经验公式，获得了一个包含 1 407 个暴的数据样本。

2 E_p 分布

从以上 3 个暴样本的数据发现暴的 E_p 分布很宽，大约从 1 keV 到 1 MeV。图 1(a)显示了 3 种暴的 E_p 分布，从图中可以看出 BATSE 暴的 E_p 值集中在 200~400 keV，具有一个大约 250 keV 左右的峰值(这个结果文[8]已有描述)，而 Fermi 暴和 HETE-2 暴的 E_p 主要集中在 100~200 keV。HETE-2 暴分布有 3 个峰值，分别是 25 keV、125 keV 和 360 keV，而 Fermi 暴跟 BATSE 暴一样只有一个峰值，大约在 125 keV 的位置。从图中很容易看出 HETE-2 暴的 3 个峰值中，125 keV 明显是最高的，而且比另外两个峰值高得多，如果 HETE-2 实际上只有一个峰值，这个峰值可能就是 125 keV。那么，HETE-2 暴样本的 E_p 分布和 Fermi 暴样本的 E_p 分布就完全一样，主要集中在几 keV 到 400 keV 之间，具有一个峰值 125 keV。而 HETE-2 样本 E_p 分布中的另外两个峰值，可能是由于样本的数量太少引起的。这样，3 种观测仪器观测到的 E_p 分布可以认为是相似的，但是仍然存在着巨大的差距，比如：BATSE 样本 E_p 分布的峰值为 250 keV，而 HETE-2 和 Fermi 样本 E_p 分布的峰值为 125 keV，即 BATSE 样本的 E_p 分布的峰值要比 HETE-2 和 Fermi 样本的 E_p 峰值要大一些。这个差别可能是由于对样本的选择造成的。对于 BATSE 样本，根据观测流量或者峰值流量选取比较亮的暴。根据 E_p 和流量之间的关系或

者其它一些观测量之间的关系，可以知道一个暴的流量越大，就具有越大的 E_p 值。因此认为 BATSE 暴的 E_p 分布比 Fermi 暴和 HETE-2 暴的 E_p 更大是合理的，而实际上 3 种仪器观测到的暴的 E_p 分布应该没有本质区别。图 1(b) 显示了 3 种暴的 log$N$-logE_p 分布，从图中也可以看出，3 种仪器的 log$N$-logE_p 分布是一致的。

3　结论和讨论

对 57 个 HETE-2/FREGATE 暴、156 个 BATSE 暴和 1 407 个 Fermi 暴的 E_p 分布进行了比较。可以看到虽然伽玛暴的 E_p 分布很宽，但是集中在比较窄的范围内，E_p 分布从几 keV 到 MeV 范围内看起来是连续的，这个结果与国际伽玛射线天体物理实验室 (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory，INTERGRAL) 暴的结果一致。Fermi 和 HETE-2 两个仪器观测到的伽玛暴具有相同的 E_p 分布，E_p 都集中在 100～200 keV 之间，具有一个峰值大约为 125 keV。BATSE 暴的 E_p 分布与 Fermi 暴和 HETE-2 暴相似，也是集中在一个范围内，具有一个峰值，但是 BATSE 暴的 E_p 集中在 200～400 keV，峰值大约在 250 keV 处，即：BATSE 暴的 E_p 分布的峰值比 Fermi 暴和 HETE-2 暴的 E_p 峰值要大一些。这可能是由于对样本的选择造成的。对于 BATSE 样本选用文[8]中的 156 个亮暴，而 HETE-2、Fermi 的样本却没有对暴进行选择，亮暴暗暴都算。根据 E_p 和流量之间的关系，如 Amati 关系[9]，可以知道一个暴的流量越大，就具有越大的 E_p 值。因此，选择一些亮暴做 E_p 分布，理应 E_p 较大，即 BATSE 暴的 E_p 分布比 Fermi 暴和 HETE-2 暴的 E_p 更大是合理的，而实际上，3 种仪器观测暴的 E_p 分布应该没有本质区别。最后做了 3 种暴的 log$N$-logE_p 分布图，从中也可以看出 3 种暴的分布是一致的。也就是说，3 种仪器观测到的暴，它们的 E_p 分布没有本质不同，不同仪器观测到伽玛暴的辐射物理信息应该是一致的。

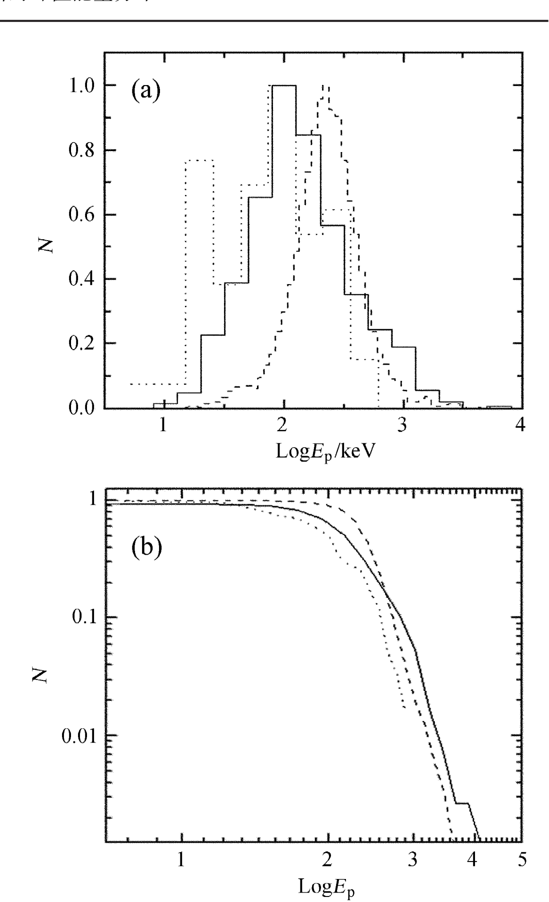


图 1　3 种暴的 E_p 分布(a)和 Log$N$-LogE_p 分布(b)，其中实线表示 Fermi/GBM 暴，虚线表示亮 BATSE 暴，点线表示 HETE-2 暴

Fig. 1　The E_p distribution (a) and Log$N$-LogE_p distribution (b) of three GRBs for Fermi/GBM (solid line) samples, bright BATSE (dashed line), and HETE-2 (dotted line)

参考文献：

[1]　尹跃，柏杨，张太荣，等. 伽玛射线暴内光度和峰值能量关系的再研究 [J]. 天文研究与技术——国家天文台台刊，2013，10(2)：121-127.
Yin Yue，Bo Yang，Zhang Tairong，et al. A revisit of the luminosity-E_p relation of Gamma-Ray Bursts [J]. Astronomical Research & Technology——Publications of National Astronomical Observatories of China，2013，10(2)：121-127.

[2]　Zhang Bing. Gamma-Ray Bursts in the Swift era [J]. Chinese Journal of Astronomy and Astropysics，2007，7(1)：1-50.

[3]　Band D，Matteson J，Ford L，et al. BATSE observations of gamma-ray burst spectra. I -spectral diversity [J]. The Astrophysical Journal，1993，413(1)：281-292.

[4]　Piran T. The physics of Gamma-Ray Bursts [J]. Reviews of Modern Physics，2004，76(4)：

1143-1210.
[5] Cui Xiaohong, Liang Enwei, Lu Ruijing. Sequences in the hardness ratio-peak energy plane of Gamma-Ray Bursts [J]. Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 2005, 5(2): 151-158.
[6] Paciesas W S, Meegan C A, Pendleton G N, et al. The fourth BATSE Gamma-Ray Burst catalog (revised) [J]. The Astrophysical Journal Supplement Series, 1999, 122(2): 465-495.
[7] 林一清. 费米卫星对伽玛暴的观测及其对理论模型的挑战 [J]. 天文研究与技术——国家天文台台刊, 2013, 10(4): 341-351.
Lin Yiqing. Observations of GRBs by the FERMI satellite and the challenge to theoretical models [J]. Astronomical Research & Technology——Publications of National Astronomical Observatories of China, 2013, 10(4): 341-351.
[8] Preece R D, Briggs M S, Mallozzi R S, et al. The BATSE Gamma-Ray Burst spectral catalog. I. high time resolution spectroscopy of bright bursts using high energy resolution data [J]. The Astrophysical Journal Supplement Series, 2000, 126(1): 19-36.
[9] Amati L, Frontera F, Tavani M, et al. Intrinsic spectra and energetic of BeppoSAX Gamma-Ray Bursts with known redshifts [J]. Astronomy and Astrophysics, 2002, 390: 81-90.

The Peak Energy Distribution of the νF_ν Spectra Obtained by Different Satellites

Lin Yiqing[1,2]
(1. School of Opto-electronic and Communication Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China, Email: yqlin@xmut.edu.cn; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Optoelectronic Technology, Xiamen 361024, China)

Abstract: Gamma-ray bursts (GRBs) is one of the most violent events in the universe. The gamma-ray telescope CGRO/BATSE (Compton Gamma-Ray Observatory/Bursts and Transient Source Experiment) consists of 8 Large NaI Area Detectors (LADs) and it can detect more than 2700 GRBs due to its wide energy coverage (-25keV to -1MeV) and large field of view. Fermi (Fermi Gamma-Ray Space Telescope) can measure the spectra in a very wide energy band (from 8keV to more than 300GeV). It opens a new era of observational astronomy in the energetic gamma-ray band. Another mission HETE-2, as the first satellite entirely dedicated to the detection and study of GRBs, the FREGATE (French Gamma Telescope) gamma ray detector on board of HETE-2 is sensitive to photons in the energy band of ~10 to ~400keV. This sensitivity range, extended towards low energies, allows us to explore the emission of GRBs in hard X-rays and X-ray flashes (XRFs), which extend the E_p distribution to a few keV. These three satellites together provide us plenty of GRB samples. It is necessary to perform a detailed analysis of these data, and to find the contained GRB radiation physics information using statistical methods. The peak energy of the νF_ν spectra E_p is an important quantity of the GRBs and it is dramatically different from burst to burst. We study the peak energy E_p distribution of the νF_ν spectra of GRBs with samples of 57 bursts observed by HETE-2, 156 bright bursts observed by BATSE and 1407 bursts observed by Fermi. Our results show that the distribution of E_p is wide, and the distribution profile of the observed E_p from BATSE, HETE-2 and Fermi/GBM GRBs is consistent. The peak energy of the BATSE sample is statistically higher than that of HETE-2 and Fermi samples, but maybe this is because the selection of the BATSE samples are bright bursts. And the distributions of Log$N$-LogE_p observed by these three satellites are also consistent with each other. These results indicate that the E_p distributions of GRBs observed by different satellites are similar, and the radiation physics of of these GRBs may be similar.

Key words: Gamma-ray; Bursts; Peak energy; Observations